

Roman WALKOWIAK*
Marek MICHALSKI
Stanisław PRYMOWICZ

Rozwój konstrukcji spawanych i technologii spawania w budowie dwusuwowych silników okrętowych

W artykule przedstawiono zmiany konstrukcyjne wprowadzane w głównych zespołach silników okrętowych: podstaw, skrzyń korbowych, bloków cylindrowych oraz zachodzące zmiany w technologii ich wytwarzania.

Słowa kluczowe: silnik okrętowy, technologia, technologie spawania

Development of welded constructions and welding technologies in building marine two-stroke engines

The article presents design modifications implemented in main assemblies of marine engines, such as bedplates, frame boxes and cylinder frames, and changes occurring in their production technology.

Key words: marine engine, technology, welding technology

1. Wstęp

W tym roku minęło 50 lat od zakupu licencji szwajcarskiej firmy Sulzer Brothers Ltd na produkcję silników okrętowych i od rozpoczęcia przygotowań do produkcji takich silników przez byłą Fabrykę Parowozów HCP. Za 3 lata minie także 50 lat od podpisania umowy licencyjnej z duńską firmą Burmeister&Wain. Przemianowana w 1958 roku Fabryka Parowozów na Fabrykę Silników Okrętowych rozpoczęła produkcję licencjonowanych silników w wersjach silników okrętowych napędu głównego oraz silników stacjonarnych dla elektrowni lądowych.

Niezależnie od licencji, mocy, wielkości, typów oraz zastosowania okrętowych silników dwusuwowych, do ich głównych zespołów należą podstawa, skrzynia korbową, zasobnik powietrza, kolektor wylotu spalin i wiele innych mniejszych zespołów zaprojektowanych i wykonywanych jako konstrukcje spawane. Na przestrzeni 50 lat produkcji widoczne są zmiany zachodzące w rozwiązaniach konstrukcyjnych zespołów silników, technologii wykonywania ich elementów, które wyniknęły z postępu nauki, nabywanego doświadczenia w projektowaniu, komputeryzacji obliczeń wytrzymałościowych, komputeryzacji opracowywania dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej, z zamówień przez armatorów silników coraz większej mocy, czy ze zmian w przepisach towarzystw kwalifikacyjnych i w normach.

Spośród wymienionych spawanych zespołów silnika najważniejszą rolę ze względu na przenoszone obciążenia spełniają podstawa i skrzynia korbową, które wraz z blokami cylindrowymi połączone są ściągamami śrubowymi tworząc układ nośny silnika. Zespoły te charakteryzować się muszą dużą wytrzymałością, sztywnością i jakością. W tym artykule zostały przedstawione zmiany w konstrukcjach tych zespołów wprowadzane w ciągu kilku ostatnich lat oraz krótki zarys metod i technologii spawania obecnie stosowanych przy ich wykonywaniu.

1. Introduction

It is now fifty years since the former HCP Steam Locomotive Factory bought a licence from the Swiss company Sulzer Brothers Ltd., and started preparations for the production of marine diesel engines. In three years, it will also be fifty years since a licence agreement was signed with the Danish company Burmeister&Wain. After the Steam Locomotive Factory had been renamed to Marine Engine Factory in 1958, it started to manufacture licence engines in the version of marine engines for main propulsion, and stationary engines for land power stations.

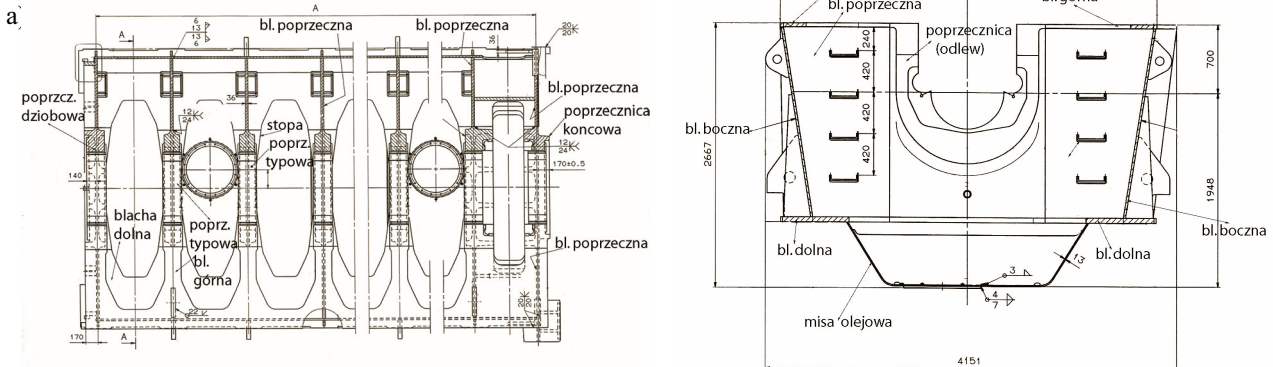
Irrespective of licence, power rating, size, type and place of operation, the main components of marine two-stroke engines include bedplate, frame box, air receiver, exhaust gas manifold, and many other smaller assemblies designed and manufactured as welded constructions. During the fifty years, the design solutions of those engine assemblies, as well as the manufacturing technology of elements and assemblies, have undergone visible changes resulting from the scientific progress, acquired experience in designing, computerization of strength calculations, computerized preparation of design and production technology documentation, ship owner orders for engines of higher and higher power rating, and alterations in the Classification Societies rules and standards.

Among the mentioned welded engine assemblies, the most important role due to carried load is performed by bedplate and frame box; together with cylinder frames, they are connected by means of stay bolts, forming the engine supporting system. The assemblies must be characterized by a high strength, rigidity and quality. Therefore this article presents modifications introduced in the design of those structures in the last few years, and outlines the welding methods and technologies applied (at present) during their manufacture.

2. Podstawa silnika

Podstawy silników okrętowych jako główne zespoły nośne przejmujące ciężar silnika i niewyrównoważone siły mechanizmu korbowego, ze względu na gabaryty i masę wynoszącą od ok. 40 do 100 ton, wykonywane są najczęściej w wersji spawanej. W ich skład wchodzi podzespoły poprzecznic: dziobowej, typowych, rufowej wewnętrznej i zewnętrznej wraz z blachami poprzecznymi. Podzespoły poprzecznic są połączone ze sobą blachami wzdłużnymi: górnymi, dolnymi i bocznymi tworząc podstawę. Od dołu podstawa jest zamknięta misą olejową. Na rysunku 1 przedstawiono widok podstawy silnika z góry i w przekroju A-A.

Podzespoły poprzecznic (dziobowej, typowej i końcowej) silników składają się z poprzecznic odlewanej ze staliwa (lub z blach lano-kutyh o grubości 250 mm) i blach poprzecznych po obu jej stronach. Poprzecznic najczęściej wykonywane są jako odlewy staliwne i wykazują więcej zalet niż blachy lano-kute; są przede wszystkim lżejsze i łatwiejsze w obróbce mechanicznej.



Kys. 1. Widok z góry podstawy silnika okrętowego (a) i jej przekroju A-A (b)

Fig. 1. Top view of marine engine bedplate (a) and its cross-section (b)

W zależności od rozwiązania konstrukcyjnego do odlewanej poprzecznic przyspawane są blachy poprzeczne po jednej lub dwie z każdej strony. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne tych podzespołów przedstawiono na rysunkach 2 i 3.

We wcześniejszych typach silników w podzespoły poprzecznic występują po dwie blachy poprzeczne z każdej strony odlewu poprzecznic (rys. 2). W złączu poprzecznic z blachą poprzeczną zaprojektowano spoinę „½V” (szczegół D) wykonywaną w pozycji podolnej (PA) na naturalnej podkładce, którą stanowi sama poprzecznic, co znacznie ułatwia wykonywanie warstwy graniowej.

Podczas montażu spawalniczego podstawy (składanie z podzespołów i elementów) blachy poprzeczne podzespołu poprzecznic są łączone z blachami dolnymi, górnymi i bocznymi spoinami typu „½V” w pozycji naściennej (PC) i pionowej (PF), z dostępem tylko z jednej strony. Spawanie od strony wewnętrznej uniemożliwia niewielka odległość między blachami poprzecznymi równa szerokości odlewu poprzecznic wynosząca w zależności od typu silnika do 250 mm. Wykonanie takich spoin jest trudne, wymaga dużego doświadczenia i umiejętności spawaczy. W takim rozwiązaniu

2. Engine bedplate

As the main supporting assemblies carrying the engine weight and taking the unbalanced forces of the crank mechanism, the marine engine bedplates, due to their overall dimensions and mass from about 40 to 100 ton, are most often made in the welded version. They include the main bearing support subassemblies: main bearing support – fore, main bearing supports, main bearing supports – aft (internal and external) together with transverse plates. The bearing support subassemblies, connected with one another by top, bottom and side longitudinal plates, form the bedplate. Underneath, the bedplate is closed with oil pan. Figure 1 shows the engine bedplate top view and section A-A.

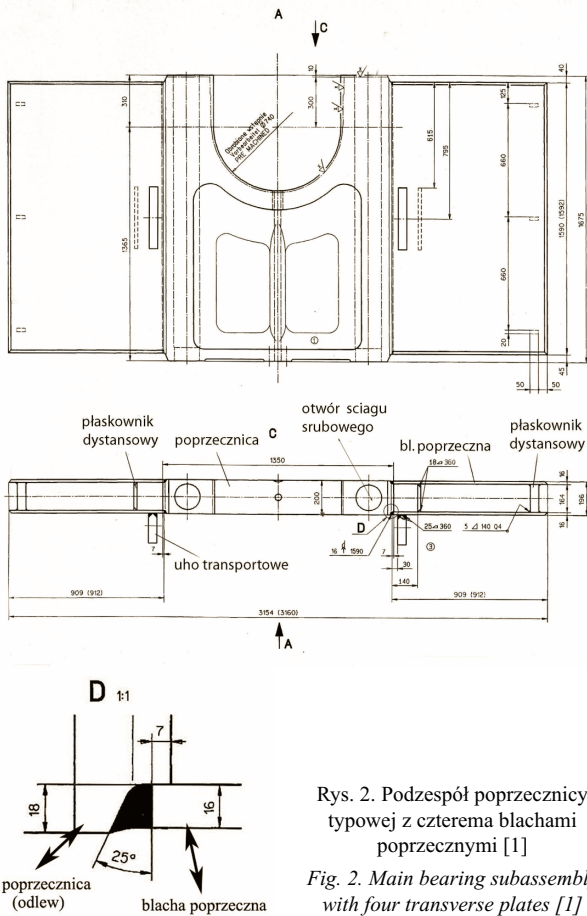
The engine bearing support subassemblies (main bearing support – fore, main bearing supports, and main bearing support – aft) are made up of cast steel bearing support (or cast and forged plates 250 mm thick) and transverse plates

on its both sides. Main bearing supports are most often made as steel castings, and show more advantages than cast and forged plates. First of all, they weigh less and their machining is easier; thus, they are used most frequently.

Depending on a design solution, one or two transverse plates are welded to the cast bearing support on each side. Examples of design solutions of the subassemblies are shown in Figures 2 and 3.

In the previous engine types, the bearing support subassembly includes two transverse plates on each side of the bearing support casting (Fig. 2). In the joint between the bearing support and transverse plate, a single-bevel butt weld is designed (detail D). The weld is made in the flat position (PA) with the natural backing represented by the bearing support itself, which makes it much easier to lay the root pass.

During the bedplate welding fitting (putting subassemblies and elements together), the transverse plates of the bearing support subassembly are connected, among other things, with bottom, top, and side plates by means of single-bevel butt welds in the horizontal position (PC) and vertical upwards position (PF) with access on one side only. Welding



Rys. 2. Podzespół poprzecznicę typowej z czterema blachami poprzecznicami [1]
 Fig. 2. Main bearing subassembly with four transverse plates [1]

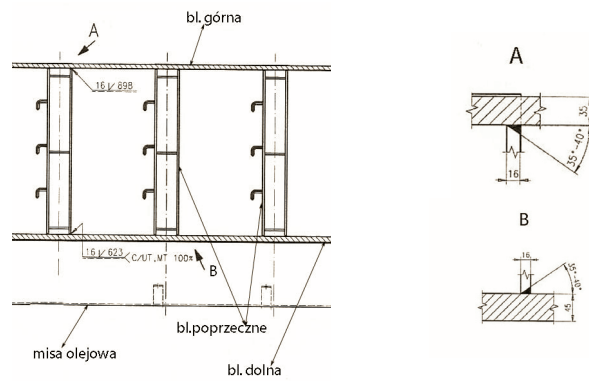
niu występuje niekorzystny rozkład naprężeń, szczególnie w grani. W tych połączeniach czasami zdarzają się pewne uchybienia spoin, których usunięcie jest bardzo kłopotliwe i kosztowne. Znacznie łatwiejsze jest wykonywanie spoin pomiędzy blachami poprzecznymi a blachami dolnymi (pozycja spawania PC) i bocznymi (pozycja spawania PF), gdyż widoczność wykonywanych spoin i dostęp są lepsze. Przekrój połączeń blach poprzecznych z blachą boczną oraz blachami górną i dolną przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

W nowszych typach silników odchodzi się od takiego rozwiązania konstrukcyjnego i w podzespołe poprzecznicę występuje jedna blacha poprzeczna z każdej strony poprzecznicę (rys. 5). Blachy te połączone są z poprzecznicą (odlewem stalowym) dwustronnymi spoinami „K”. Spawanie blach z poprzecznicą jest nieco trudniejsze niż w poprzednim rozwiązaniu, gdyż odbywa się bez naturalnej podkładki, jednak możliwość spawania w pozycji podolnej (PA) i dostęp do spoiny z obu stron gwarantuje wykonanie spoin o żądanej klasie jakości. Zaleta ukosowania typu „K” blach poprzecznych uwidacznia się także podczas montażu spawalniczego podstawy z podzespołów poprzecznic i blach. Spoiny pomiędzy blachami poprzecznymi, blachami dolnymi, górnymi i bocznymi podstawy, tak jak w poprzednim rozwiązaniu, wykonywane są półautomatycznie w pozycji naściennej (PC) i pionowej z dołu do góry (PF), jednak spoin jest o połowę mniej i z dostępem z obu stron. Uchybienia

from the inside is rendered impossible by a small distance between the transverse plates, equal to the bearing support casting width; depending on engine type, the distance amounts to 250 mm. It is difficult to make that kind of welds; welders must be very experienced and skilled.

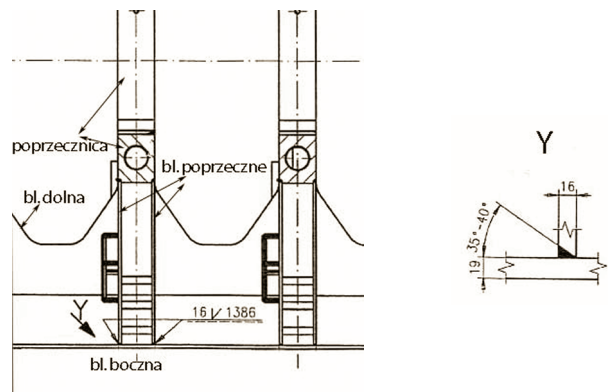
In such a solution, a disadvantageous stress distribution appears, particularly in the root. In those joints, some weld deviations happen sometimes, and it is very troublesome and expensive to remove them. It is much easier to make welds between transverse plates and bottom plates (welding position PC) and side plates (welding position PF), because the visibility of and access to the welds being laid are better. A cross-section of joints between transverse plates and side plate and top and bottom plates is shown in Figures 3 and 4.

In newer engine types, this kind of design solution is applied less and less frequently, and the bearing support assembly is provided with one transverse plate on each side of the bearing support (Fig. 5). Those plates are connected with the bearing support (steel casting) by two-sided double-bevel butt welds. The welding of plates with the bearing support is a little more difficult than in the former solution, because it is done without natural backing; however, the possibility of welding in the flat position (PA), and access to weld on both sides guarantee that the welds made will be of



Rys. 3. Połączenie blach poprzecznych z blachami górną i dolną [1]

Fig. 3. Joint between transverse plates and top and bottom plates [1]



Rys. 4. Połączenie blach poprzecznych z blachami bocznymi [1]

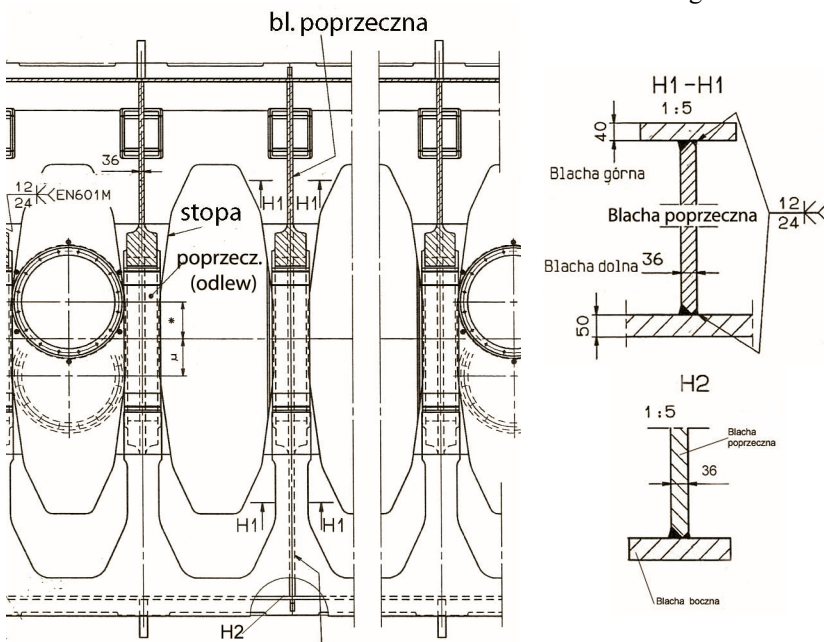
Fig. 4. Joint between transverse plates and side plates [1]

spoin występują znacznie rzadziej, gdyż łatwiej jest kontrolować spoinę graniową.

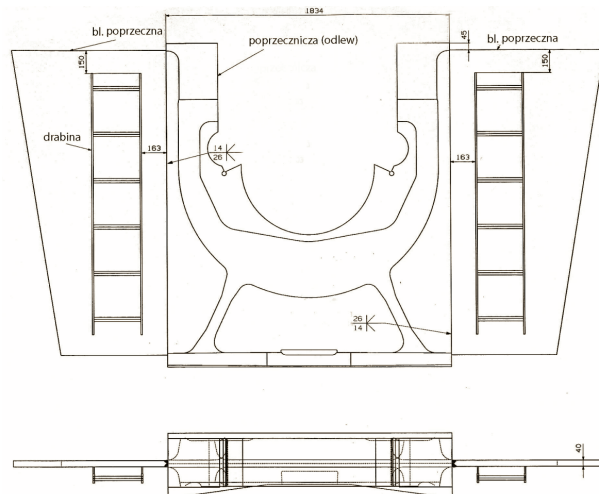
Na rysunku 6 przedstawiono przekroje złączy spawanych jakie tworzą blachy poprzeczne z blachami górnymi i dolnymi. W taki sposób zaprojektowane złącza zapewniają technologiczność konstrukcji. Po ich wykonaniu istnieje możliwość kontroli wizualnej (VT) lub magnetyczno-proszkowej (MT) warstwy przetopowej od strony grani, co pozwala usunąć ewentualne uchybienia spoiny na samym początku jej tworzenia, a nie po całkowitym wykonaniu i po badaniach ultradźwiękowych (UT).

Spoiny pomiędzy odlewem stalowym a blachami poprzecznymi wykonywane są za pomocą spawania elektrodami otulonymi, spawania półautomatycznego metodą MAG z zastosowaniem drutów, początkowo pełnych, później rdzeniowych. Obecnie spoiny wykonywane są za pomocą spawania automatycznego łukiem krytym. Na rysunku 7 przedstawiono fotografię słupowysięgnika ESAB 460 do spawania łukiem krytym zainstalowanym na Wydziale Spawalni Fabryki Silników Okrętowych.

Spawanie automatyczne łukiem krytym pozwoliło skrócić czas spawania i poprawić jakość spoin. Znaczącym efektem zastosowania tej metody spawania jest odciążenie spawacza. Rola spawacza ogranicza się do ustawienia parametrów spawania zgodnie z instrukcjami WPS, uruchomienia pracy urządzenia i nadzorowania procesu spawania. Spoiny pomiędzy poprzecznicami (odlewami) a blachami poprzecznymi przenoszą największe obciążenia dynamiczne zmienne. Dlatego te spoiny poddawane są całkowitej, rygorystycznej kontroli tj. badaniom: wizualnym VT, magnetyczno-proszkowym MT i ultradźwiękowym UT. Jakość złączy spawanych musi odpowiadać klasie B wg normy ISO 5817. Badania przeprowadza wykwalifikowany personel posiadający certyfikaty według PN-EN 473.



Rys. 6. Przekroje złączy między blachami poprzeczną, boczną, górną i dolną [2]
Fig. 6. Cross-sections of joints between transverse, side, top and bottom plates [2]



Rys. 5. Podzespół poprzeczniczy typowej z dwoma blachami poprzecznymi [2]

Fig. 5. Main bearing support subassembly with two transverse plates [2]

the required quality grade. The advantage of the new solution, consisting in the chamfering of transverse plates for double-bevel butt welds, becomes evident also during the welding fitting of the bedplate bearing support subassemblies and plates. Welds between transverse plates, bottom, top and side plates of the bedplate, just as in the previous solution, are made semi-automatically in the horizontal position (PC) and vertical upwards position (PF), but there are half as many welds and the access to them is on both sides. Weld deviations happen much more rarely, because it is easier to control the root weld.

Figure 6 shows cross-sections of welded joints formed by transverse plates with top and bottom plates. Joints designed like that ensure the producibility. After they have been made, it is possible to carry out visual testing (VT) or magnetic-particle testing (MT) of fusion zone on the root side, which allows removing possible weld deviations at the very beginning of weld formation, not after complete weld execution and ultrasonic testing (UT).

Welds between steel casting and transverse plates were made by means of welding with covered electrodes, MAG semi-automatic welding with the use of solid wires at the beginning, and then core wires. At present, welds are made by means of fully automatic submerged-arc welding. Fig. 7 shows ESAB 460 Mast and Boom for submerged-arc welding, installed in the Marine Engine Factory Welding Shop.

Fully automatic submerged-arc welding allowed shortening the welding time, improving the weld quality. A significant effect of applying this welding method is



Rys. 7. Stanowisko do spawania łukiem krytym Esab 460 MaB i złącze poprzecznic (odlew)-blacha poprzeczna
 Fig. 7. Esab 460 MaB station for submerged-arc welding, and joint between bearing support (casting) and transverse plate

Największe problemy od strony wykonawczej stwarzają spoiny pomiędzy blachami górnymi i blachami poprzecznymi wykonywane w pozycji naściennej (PC), a ponadto spawacz wykonuje te spoiny leżąc. Usytuowanie spoin i pozycja spawacza wpływają niekorzystnie na wykonawstwo. Spoiny te podlegają również całkowitej kontroli VT, MT, UT i muszą spełniać kryteria określone normą PN-ISO 5817 kl. C. Spoiny pomiędzy odlewem stalowym a blachami poprzecznymi w nowszych rozwiązaniach konstrukcyjnych z dostępem z obu stron typu „K” wykonywane są dwiema metodami: warstwa graniowa za pomocą spawania łukowego półautomatycznego drutem pełnym w osłonie mieszanek gazowych M21, natomiast warstwy wypełniające za pomocą spawania automatycznego łukiem krytym.

We wszystkich przypadkach procesy spawania prowadzone są według instrukcji spawania WPS opracowanych na podstawie kwalifikowanych metod spawania WPQR wg normy PN-ISO 15614 prowadzonych pod nadzorem towarzystw kwalifikacyjnych. Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe uznanie WPQR kwalifikowanej metody półautomatycznego spawania w osłonie mieszanki drutem pełnym.

Do spawania ręcznego półautomatycznego w osłonach gazów aktywnych stosowane są druty G4Si1 ϕ 1,2 wg PN-EN 440, natomiast do spawania automatycznego łukiem krytym w zestawieniu z topnikiem S420ARS2 ϕ 3 mm według normy PN-EN 756. Stosowane do spawania materiały do-

the welder's relief. His role is only to set welding parameters according to WPS, put equipment in motion, and monitor welding process. Welds between bearing supports (castings) and transverse plates carry the largest variable dynamic loads. That is why those welds are put to strict 100 % inspection, i.e. visual testing (VT), magnetic-particle testing (MT), and ultrasonic testing (UT). The welded joint quality must be corresponding to grade B according to the ISO 5817 standard. Qualified personnel having certificates according to PN-EN 473 carry out tests.

The biggest problems with respect to execution are posed by welds between top plates and transverse plates, made in the horizontal position (PC); apart from that, the welder lays those welds in the lying position. The weld location and welder position affect the workmanship adversely. The welds are also subject to 100% VT, MT and UT, and they must meet the criteria specified in the PN-ISO 5817 standard, grade C.

Welds between steel casting and transverse plates in newer design solutions with double-bevel butt welds with access on both sides are made by means of two methods. The root pass is made by means of semiautomatic submerged-arc welding with solid wire in M21 gas mixture shielding, and the filling passes are made by means of fully automatic submerged-arc welding.

DET NORSKE VERITAS Ref: HCP-UZ 135-040

WELDING PROCEDURE QUALIFICATION TEST
According to (code, standard)

Manufacturer's welding procedure No. UZ 135-040

Manufacturer: H. CEGIELSKI, Poznan, Poland Place and date: Poznań, Poland 2005-09-16
 Purchaser's spec. No.: IP Huse AS, Norway - P.O. 44002 & 44003 Project: 2004032 and 2004075
 Requirements beyond codes/standards: DNV-OS-C401, April 2004 - Ch. 2, Sec. 1 and 3B

Joint preparation and welding sequence (Sketch):
 State rolling direction, if applicable

BASE MATERIAL SPECIFICATION AND GROUPING
 Group 1.2 (according to ISO 15608)
 $t=35 \text{ mm} / t=200 \text{ mm} - \text{NVE36 (DNV Rules, Pt.2, Ch.2)}$

Grade	C, %	C eq	Grade	C, %	C eq
NVE36	0,15	0,41	NVE36	0,09	0,40

If applicable, the following C eq based on ladle analysis is to be calculated:
 $C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Cu+Ni}{15}$

Welding process(es): 135 - BW Welding position: PC Single-Double sided welding: Single

WELDING CONSUMABLES:

Index	Consumable(s), trade name	Code designation
A	Wire / Gas combination - IMT3 Multimet / M21 Crysal Messer	G4Si1 according to EN 440
B	-	-
C	-	-

WELDING PARAMETERS:

Pass No.	Index	Diam. mm	Gas composition	Gas L/min	Current polarity	Amps	Volts	Travel speed mm/min	Wire feed mm/min	Heat input kJ/cm
1	135	1,2	M21	12-16	DC+	175	23,5	0,16	5,0	-14
2	135	1,2	M21	12-16	DC+	230	29,0	0,19	6,3	-21
3-21	135	1,2	M21	12-16	DC+	245	27,5	0,27	5,8	-15

Other information (weaving, backing, groove preparation, gouging, grinding, etc.):

SPECIAL REQUIREMENTS: Preheat min. 50°C Interpass max 220°C PWHT - Time -
 Heating/cooling rate: Baking of electrodes: Others:

WELDING CARRIED OUT BY: Zbigniew Smykowski TEST PIECE MARKED: 135 BW PC UZ135-040
 EXTENT OF APPROVAL: Base material(s) Group 1.2 Positions: PA
 Plate / wall thickness: 17,5 - 70 mm Other limitations: see below
 Herewith WPQT is valid for projects No. 2004032 and 2004075 (IP Huse AS) only

We certify that the statements in this record are correct and that the test weld was prepared, welded and heat treated in accordance with the specified Code/Standard and/or purchaser's requirements.

H. CEGIELSKI-POZNAN S.A. 60-910 Czerniewa 1556 m. 20-220
 KRS 0000020696 - Sąd Rejonowy w Poznaniu, XII KRS 0000020696 - Sąd Rejonowy w Poznaniu, XII KRS 0000020696 - Sąd Rejonowy w Poznaniu, XII
 (Czł. Zarządu) Witold Kępiński (Czł. Zarządu) Witold Kępiński (Czł. Zarządu) Witold Kępiński
 DNV Gdańsk, Witold Kępiński

DET NORSKE VERITAS, VERITASVEIEN 1, NO-1322 HØVIK, NORWAY. TEL INT: +47 67 57 99 00, TELEFAX: +47 67 57 99 11
 Form No.: Issue: Page 1 of 1

DET NORSKE VERITAS Ref: HCP-UZ 135-040

WELDING PROCEDURE QUALIFICATION TEST
According to (code, standard)

Manufacturer's welding procedure No. UZ 135-040

Manufacturer: H. CEGIELSKI, Poznan, Poland Place and date: Poznań, Poland 2005-09-16
 Purchaser's spec. No.: IP Huse AS, Norway - P.O. 44002 & 44003 Project: 2004032 and 2004075
 Requirements beyond codes/standards: DNV-OS-C401, April 2004 - Ch. 2, Sec. 1 and 3B

Joint preparation and welding sequence (Sketch):
 State rolling direction, if applicable

BASE MATERIAL SPECIFICATION AND GROUPING
 Group 1.2 (according to ISO 15608)
 $t=35 \text{ mm} / t=200 \text{ mm} - \text{NVE36 (DNV Rules, Pt.2, Ch.2)}$

Grade	C, %	C eq	Grade	C, %	C eq
NVE36	0,15	0,41	NVE36	0,09	0,40

If applicable, the following C eq based on ladle analysis is to be calculated:
 $C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Cu+Ni}{15}$

Welding process(es): 135 - BW Welding position: PC Single-Double sided welding: Single

WELDING CONSUMABLES:

Index	Consumable(s), trade name	Code designation
A	Wire / Gas combination - IMT3 Multimet / M21 Crysal Messer	G4Si1 according to EN 440
B	-	-
C	-	-

WELDING PARAMETERS:

Pass No.	Index	Diam. mm	Gas composition	Gas L/min	Current polarity	Amps	Volts	Travel speed mm/min	Wire feed mm/min	Heat input kJ/cm
1	135	1,2	M21	12-16	DC+	175	23,5	0,16	5,0	-14
2	135	1,2	M21	12-16	DC+	230	29,0	0,19	6,3	-21
3-21	135	1,2	M21	12-16	DC+	245	27,5	0,27	5,8	-15

Other information (weaving, backing, groove preparation, gouging, grinding, etc.):

SPECIAL REQUIREMENTS: Preheat min. 50°C Interpass max 220°C PWHT - Time -
 Heating/cooling rate: Baking of electrodes: Others:

WELDING CARRIED OUT BY: Zbigniew Smykowski TEST PIECE MARKED: 135 BW PC UZ135-040
 EXTENT OF APPROVAL: Base material(s) Group 1.2 Positions: PA
 Plate / wall thickness: 17,5 - 70 mm Other limitations: see below
 Herewith WPQT is valid for projects No. 2004032 and 2004075 (IP Huse AS) only

We certify that the statements in this record are correct and that the test weld was prepared, welded and heat treated in accordance with the specified Code/Standard and/or purchaser's requirements.

H. CEGIELSKI-POZNAN S.A. 60-910 Czerniewa 1556 m. 20-220
 KRS 0000020696 - Sąd Rejonowy w Poznaniu, XII KRS 0000020696 - Sąd Rejonowy w Poznaniu, XII KRS 0000020696 - Sąd Rejonowy w Poznaniu, XII
 (Czł. Zarządu) Witold Kępiński (Czł. Zarządu) Witold Kępiński (Czł. Zarządu) Witold Kępiński
 DNV Gdańsk, Witold Kępiński

DET NORSKE VERITAS, VERITASVEIEN 1, NO-1322 HØVIK, NORWAY. TEL INT: +47 67 57 99 00, TELEFAX: +47 67 57 99 11
 Form No.: Issue: Page 1 of 1

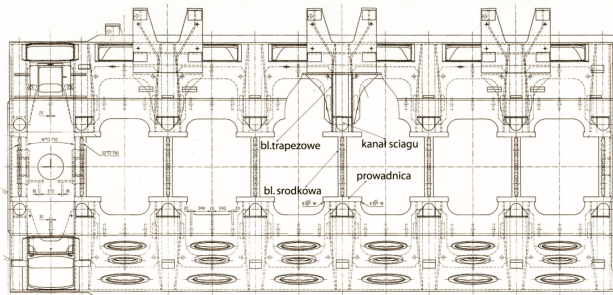
Rys. 8. Przykładowe świadectwo WPQR kwalifikowania metody spawania 135 (MAG)
 Fig. 8. Example of WPQR for 135 (MAG)

datkowe posiadają uznanie takich towarzystw kwalifikacyjnych jak ABS, DNV, GL, LR, PRS.

3. Skrzynia korbowa

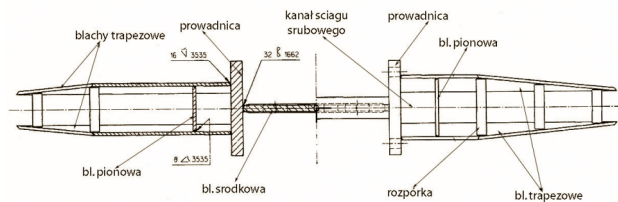
Drugim zespołem silnika okrętowego narażonym na znaczne dynamiczne obciążenia jest skrzynia korbowa. Ze względu na znaczne rozmiary i masę wykonywana jest ona jako konstrukcja spawana. Skrzynia korbowa silnika okrętowego zbudowana jest ze stojaków: dziobowego, typowych, rufowych (wewnętrznego i zewnętrznego) oraz blach bocznych, dolnych i górnych.

W okresie 50 lat produkcji silników dają się zaobserwować znaczące zmiany rozwiązań konstrukcyjnych tego ze-



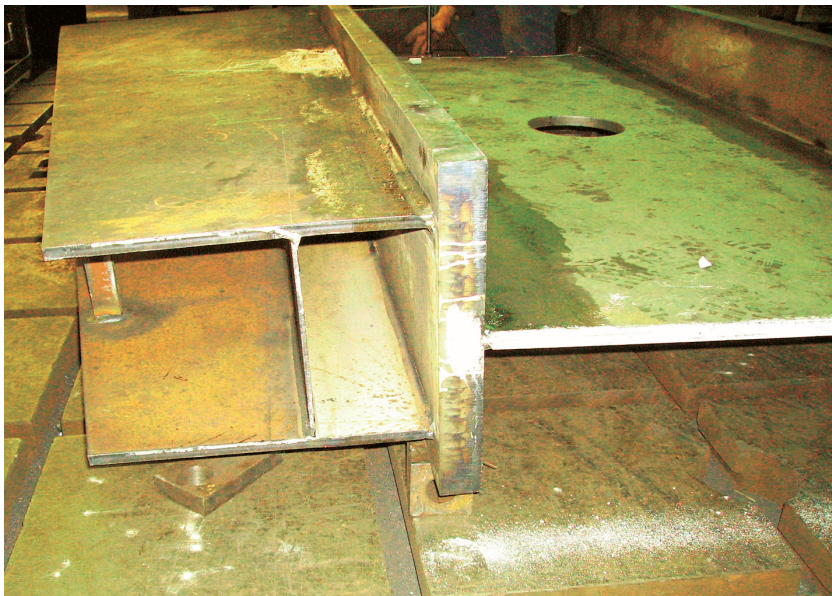
Rys. 9. Skrzynia z kanałami ściagu śrubowego między blachami trapezowymi [1]

Fig. 9. Box with stay bolt channels between trapezoidal plates [1]



Rys. 10. Przekrój poprzeczny stojaka z kanałami między blachami trapezowymi i prowadnicą [1]

Fig. 10. Cross-section of frame with channels between trapezoidal plates and guide bar [1]



Rys. 11. Stojak z kanałami między blachami trapezowymi i prowadnicą [1]
Fig. 11. Frame with channels between trapezoidal plates and guide bar [1]

społu silnika; jest ich więcej niż zmian w podstawach. Niezależnie od zapewnienia tym konstrukcjom wymaganych właściwości wytrzymałościowych, z punktu widzenia spawalniczego obecne rozwiązania konstrukcyjne skrzyń w lepszym stopniu uwzględniają technologiczność wykonania w porównaniu do rozwiązań wcześniejszych.

Na rysunkach 9-14 przedstawiono różne rozwiązania konstrukcyjne skrzyń korbowych, przede wszystkim stojaków, gdyż to one najczęściej poddawane są zmianom konstrukcyjnym. Każdy stojak (bez względu na typ silnika) składa się z blachy środkowej, prowadnic i blach trapezowych (dwóch lub czterech). Ponadto, w zależności od rozwiązania konstrukcyjnego, w każdym stojaku umiejscowione są kanały ściągów śrubowych. Kanały te mogą być utworzone przez blachy trapezowe (rys. 9, 10), rury (rys. 11, 12), otwory w żebrach (rys. 10, 11) lub przestrzeń (przekrój trójkąta)

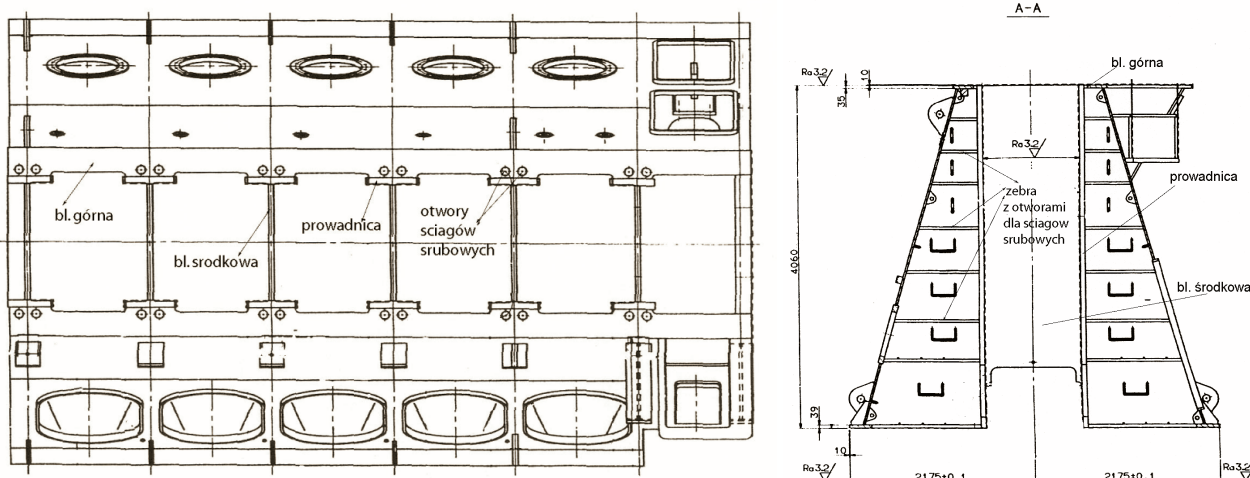
4. Frame box

Another marine engine assembly exposed to considerable dynamic loads is frame box. Due to their large dimensions and mass, marine engine frame boxes are manufactured as welded constructions. The marine engine frame box is built of frame – fore, frames, frames –aft (internal and external) and side, bottom and top plates.

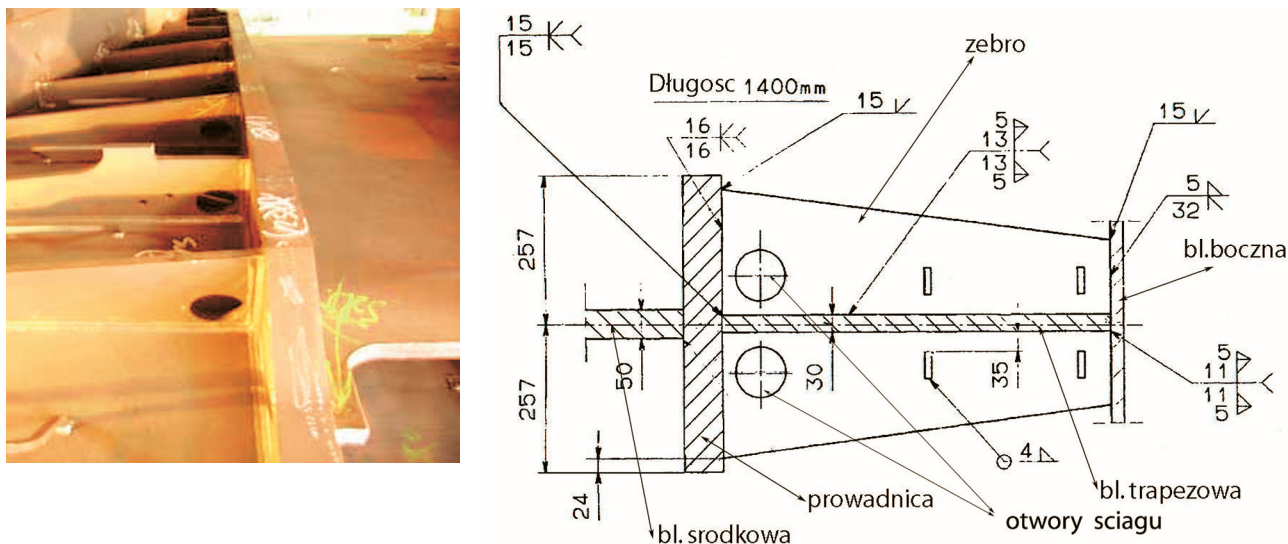
During the fifty-year-long engine production, significant modifications of design solutions have been seen in this engine assembly, and they are more numerous than modifications in bedplates. Despite the fact that the required strength properties from the welding point of view are ensured for the constructions, the present design solutions of frame boxes take account, to a great extent, of the practicability of execution compared with the previous solutions.

Figures show different design solutions of frame boxes – first of all, frames, because it is frames that are subjected to design modifications most often. Every frame (irrespective of engine type) is made up of middle plate, guide bars, and trapezoidal plates (two or four). Furthermore, depending on design solution, every frame is provided with stay bolt channels. Trapezoidal plates (Figs. 9 and 10), tubes (Figs. 11 and 12), holes in ribs (Figs. 10 and 11), or space (triangular section) between guide bar and trapezoidal plate and vertical plate strip (Figs. 13 and 14) can form the channels.

In the older frame types, the guide bar, trapezoidal plates and vertical plate between them (Fig.10) form the stay bolt channel. The trapezoidal plates with vertical plates and guide bars form a tee joint with single-bevel butt welds giving the possibility of access on one side only, which renders it difficult to make joints. The root and filling passes between the



Rys. 12. Skrzynia korbowa z otworami dla ściągów śrubowych w żebrach [2]
Fig. 12. Frame box with stay bolt holes in ribs [2]



Rys. 13. Przekrój poprzeczny i widok stojaka skrzyni korbowej z otworami dla ściągów śrubowych usytuowanymi w żebrach [2]
 Fig. 13. Cross-section and transverse view of frame box frame with stay bolt holes located in ribs [2]

między prowadnicą a blachą trapezową i pionowym pasem blachy (rys. 13, 14).

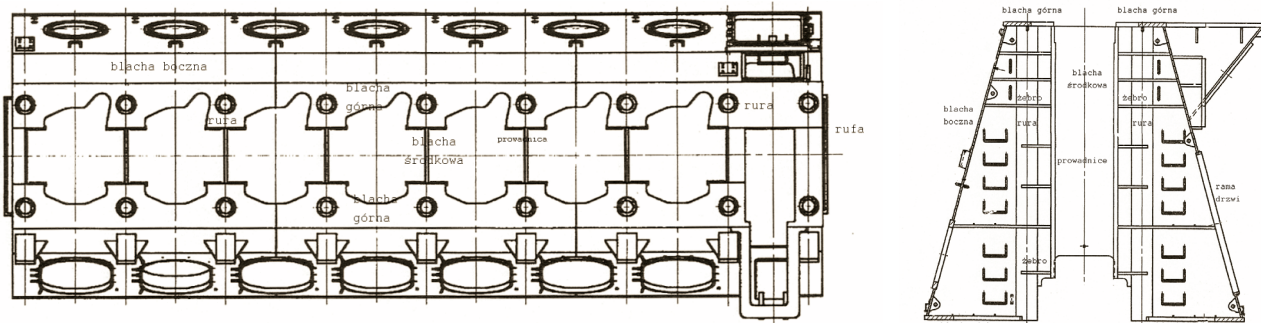
Kanał ściagu śrubowego w stojakach starszych typów tworzą: prowadnica, blachy trapezowe i blacha pionowa pomiędzy nimi (rys. 10). Blachy trapezowe z blachami pionowymi i prowadnicami tworzą złącza teowe ze spoinami 1/2V z możliwością dostępu tylko z jednej strony, co utrudnia wykonanie złączy. Warstwy graniowe oraz warstwy wypełniające pomiędzy blachami trapezowymi i blachami pionowymi są wykonywane półautomatycznie w pozycji podolnej (PA), natomiast spoiny pomiędzy blachami trapezowymi i prowadnicami mogą być wykonywane w trzech wariantach: warstwy graniowe w każdej wersji półautomatycznie drutem pełnym, a wypełniające półautomatycznie z zastosowaniem drutu rdzeniowego w osłonie gazu aktywnego lub automatycznie łukiem krytym. W podobny sposób spawana jest blacha środkowa z prowadnicami.

Blachy trapezowe stojaków z blachami dolnymi, bocznymi i górnymi tworzą złącza teowe ze spoinami 1/2V lub K, i wykonywane są głównie w pozycji naściennej (PC) i pionowej (PF) ze znikomą ilością spoin w pozycjach podolnych (PA). Wykonywane spoiny muszą mieć poprawny prze-

trapezoidal plates and vertical plates are made semi-automatically in the flat position (PA) whereas welds between the trapezoidal plates and guide bars can be made in three variants. The root passes in each version can be made semi-automatically with solid wire, and the filling passes – semi-automatically with the use of core wire in active gas shielding or automatically with submerged arc. The middle plate is welded with guide bars in a similar way.

Trapezoidal plates with bottom, side and top plates form tee joints with single-bevel or double-bevel butt welds that are mainly made in the horizontal (PC) and vertical (PF) positions, with a minimal number of welds in the flat positions (PA). The welds must have a correct root pass penetration in class B according to PN-ISO 5817. Figures 10 and 11 show a frame cross-section presenting the arrangement and shape of plates and welds.

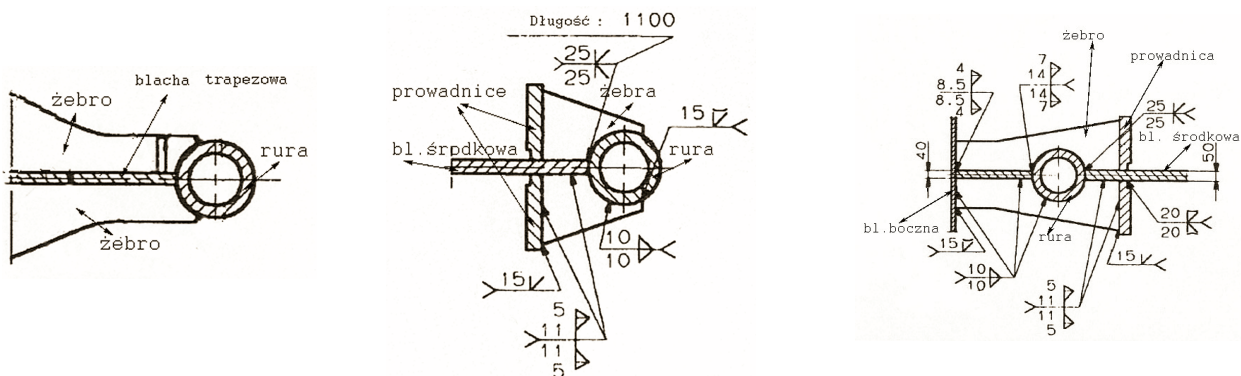
In many engines the supporting system (bedplate, frame box and cylinder frames) is connected by means of bolts going in frames through stiffening ribs. Thanks to that kind of solution, forces appearing in frame and system assemblies during operation can be distributed evenly. The producibility problems of the frame itself and frame box are



Rys. 14. Skrzynia korbowa z kanałami rurowymi dla ściągów śrubowych [2]
 Fig. 14. Frame box with stay bolt tube channels [2]

top warstwy graniowej w klasie B według PN-ISO 5817. Na rysunkach 10 i 11 przedstawiono przekrój poprzeczny stojaka obrazujący układ blach, spoin i ich kształt.

solved very correctly. The frame design solution makes it possible to introduce welding automation in production. Double-bevel butt welds between the middle and trapezoidal



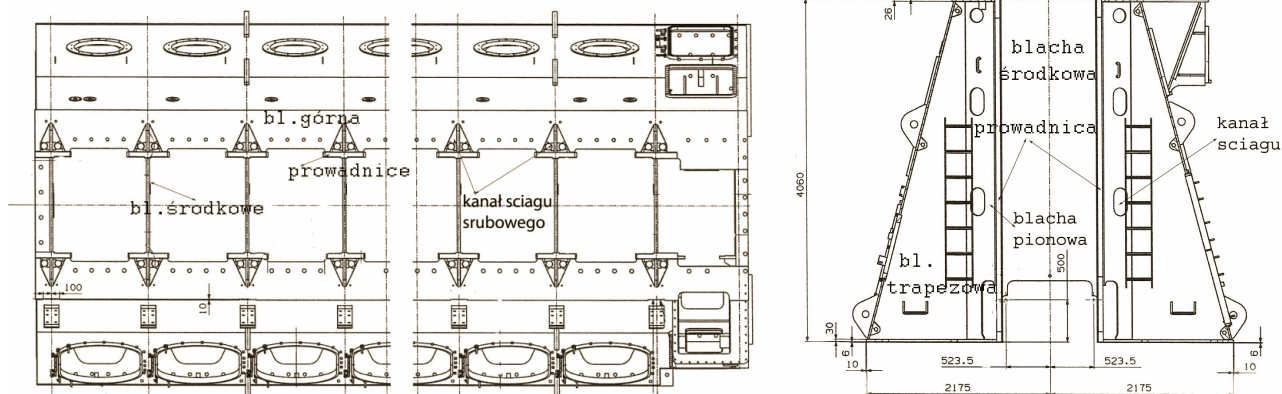
Rys. 15. Przekroje połączeń rury z blachami środkową i trapezowymi oraz prowadnicami w stojaku [2]

Fig. 15. Cross-sections of connections of tube with middle plate, trapezoidal plates and guide bars in frame [2]

W wielu silnikach układ nośny (podstawę, skrzynię i bloki cylindrowe) połączono za pomocą śrub przechodzących w stojakach przez żebra usztywniające. Takie rozwiązanie pozwala równomiernie rozłożyć siły występujące w stojaku i w zespołach układu podczas pracy silnika. Dobrze rozwiązano problemy technologiczności konstrukcji samego stojaka oraz skrzyni korbowej. Rozwiązanie konstrukcyjne stojaków pozwala na wprowadzenie do produkcji automatyzacji prac spawalniczych. Spoiny typu „K” pomiędzy blachami środkową i trapezową wykonywane są za pomocą spawania automatycznego łukiem krytym. Dwustronne spawanie pozwala na taki dobór parametrów spawania, że zniwelowane są do minimum odkształcenia. Dopiero po zespoleniu tych detali odbywa się montaż spawalniczy żebrow – szczepianie. Ważnym etapem produkcji jest także usytuowanie żebrow, aby były zachowane dokładne odległości otworów od osi poprzecznej i wzdłużnej stojaka, gdyż otwory w żebrow są wykonywane przed spawaniem. W celu osiągnięcia dokładnych wymiarów usytuowania otworów do montażu spawalniczego żebrow stosuje się specjalne oprzyrządowanie. Żebra zaprojektowano tak, by można było wprowadzić robotyzację

dal plates are made by means of automatic submerged-arc welding. Welding from both sides makes it possible to select welding parameters in such a way that deformations are reduced to a minimum. It is only after those elements have been joined that the welding fitting of ribs – tack welding – takes place. An important production stage is the positioning of ribs so that the exact distances of holes from the longitudinal and transverse axes of frame can be kept, because the holes in frames are made before welding. To obtain precise dimensions of the hole location for the welding fitting of ribs, a special fixture is used. Ribs are designed so that robotization can be implemented. Robotized welding of that type of frames was tested in Spain.

The ribs on both sides of trapezoidal plates and guide bar are connected by means of both-sides welds of the double-bevel butt type and double-V butt type. Those welded joints are made in a special fixture making it possible to carry out welding in the flat position (PA), and the joints between side plates and frame subassembly are welded in



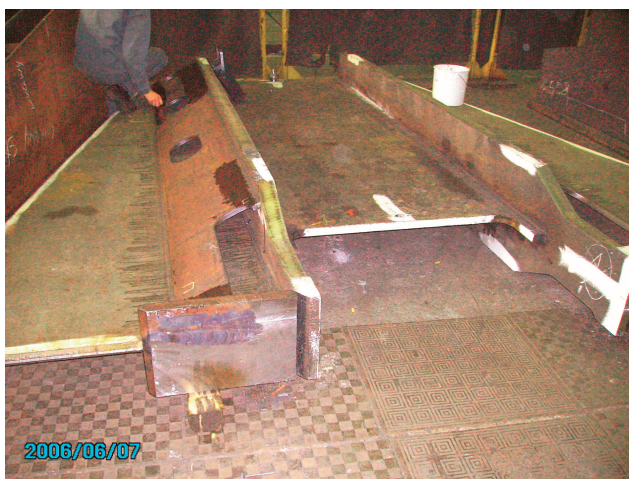
Rys. 16. Skrzynia korbowa z kanałami trójkątnymi (typ „triangul”) dla ściągów śrubowych [2]

Fig. 16. Frame box with triangular channels („triangul” type) for stay bolts [2]

cję. Testy zrobotyzowanego spawania tego typu stojaków prowadzono w Hiszpanii.

Żebra występujące po obu stronach blach trapezowych oraz prowadnicą łączą się za pomocą spoin dwustronnych typu K i 2Y. Wykonanie tych złączy spawanych prowadzone jest w specjalnym oprzyrządowaniu umożliwiającym spawanie w pozycji podolnej (PA). Natomiast złącza występujące pomiędzy blachami bocznymi a podzespołem stojaka spawane są w pozycjach naściennej (PC) i pionowej (PF). Ponieważ spoiny są dwustronne, wykonanie w nich poprawnych przetopów nie stwarza problemów. Spoiny wykonywane są półautomatycznie metodą MAG.

W silnikach o dużej mocy (ok. 22 000 kW) i o dużym skoku tłoka (ok. 3 000 mm) zastosowano rozwiązanie stojaków, w którym kanały ściągów śrubowych stanowią dwie rury (rys. 14) lub cztery kanały trójkątne (rys. 16). W skrzyniach korbowych ze stojakami rurowymi podzespół stojaka składa się z rur połączonych blachą środkową, do której przyspawane są prowadnice usztywnione żebrami dochodzącymi do rur, jak przedstawiono na rysunku 15. Z obu stron rur dochodzą blachy trapezowe. Spawanie blachy środkowej oraz trapezowych z rurami jest prowadzone automatycznie łukiem krytym. Zaprojektowane spoiny dwustronne typu „K” umożliwiają takie ustawienie procesu, by naprężenia nie powodowały odkształceń. Większej uwagi wymaga montaż i spawanie żeber usztywniających, gdyż ich dokładne rozmieszczenie decyduje o rozkładzie naprężeń.

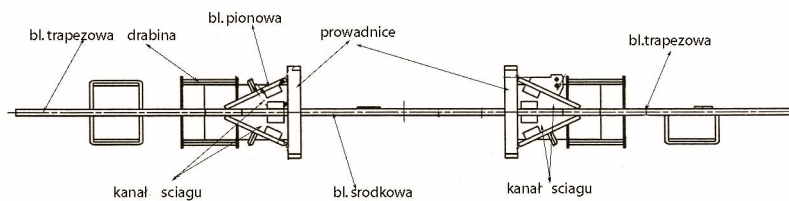


Rys. 18. Stojak skrzyni korbowej typu „triangul”

Fig. 18. Frame box frame of „triangul” type

Ściąg śrubowy przechodzący przez kanały zespalają skrzynię z podstawą, blokami cylindrowymi i zapewniają sztywność tych trzech zespołów.

Najnowszym rozwiązaniem konstrukcyjnym w skrzyniach korbowych są stojaki z trójkątnymi kanałami ściągów śrubowych (typ „triangul”). W każdym stojaku występują 4 kanały ściągów, które tworzą: prowadnica, blacha trapezowa i blacha pionowa (rys. 17). Zaletą tego rozwiązania jest



Rys. 17. Przekrój poprzeczny stojaka skrzyni korbowej typu „triangul”

Fig. 17. Cross-section of frame box frame of „triangul” type

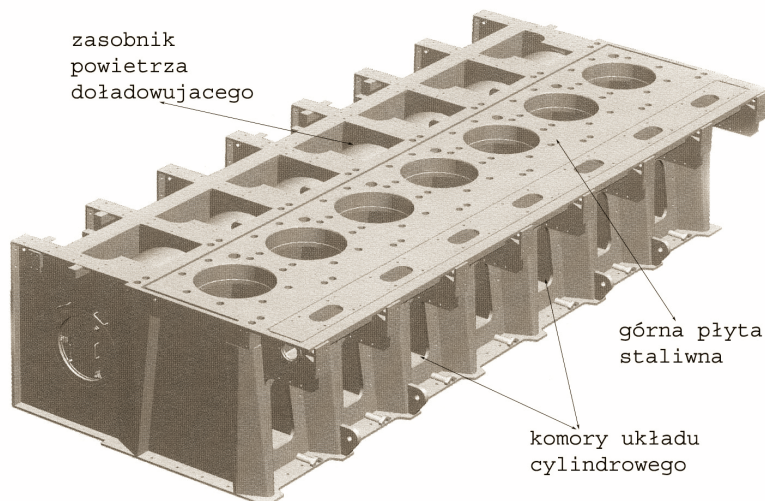
the horizontal (PC) and vertical (PF) positions. As the welds are made from two sides, there is no problem with achieving correct penetrations in them. The welds are made by means of semiautomatic MAG method.

In engines with high power (about 22,000 kW) and long piston stroke (about 3,000 mm), a frame solution with stay bolt channels consisting of two tubes (Fig. 14) or four triangular channels (Fig. 16) is applied. In frame boxes with tubular frames, the frame subassembly is made up of tubes connected by the middle plate to which guide bars stiffened with ribs reaching the tubes are welded, as shown in Figure 15. Trapezoidal plates reach both sides of the tubes. The middle plate and trapezoidal plates are welded to the tubes automatically with submerged arc. The designed double-bevel butt welds made from two sides render it possible to arrange the process so that stresses cannot bring about deformations. The fitting and welding of stiffening ribs call for more care, because their exact location is decisive for stress distribution.



Stay bolts going through channels unite frame box with bedplate and cylinder frames, and ensure the rigidity of the three assemblies.

The newest design solution in frame boxes is represented by frames with triangular stay bolt channels (“triangul” type). Each frame is provided with four stay bolt channels formed by guide bar, trapezoidal plate and vertical plate (Fig. 17). The advantage of the solution is that the biggest stress-



Rys. 19. Zespoły bloków cylindrowych i zasobnika powietrza w wersji spawanej [3]

Fig. 19. Sets of cylinder frames and air receiver in welded version [3]

to, że największe naprężenia występujące w tym obszarze zamykają się po okręgu z wpisanym trójkątem. W takim rozwiązaniu zdecydowanie łatwiejsze i tańsze jest wykonanie spoin, gdyż nie występują żebra usztywniające, których spawanie wymaga kilkakrotnego obracania stojaka w celu ich wykonywania w najdogodniejszych pozycjach oraz ograniczenia odkształceń spawalniczych. Niedogodnością są spoiny typu $\frac{1}{2}V$ z jednostronnym dostępem wymagające znacznej koncentracji uwagi przy ich wykonywaniu przez spawaczy, ale tylko warstwy graniowej, gdyż warstwy wypełniające nadają się do zastosowania zautomatyzowanych metod spawania. Ponadto, według informacji MAN B&W, naprężenia występujące w warstwie graniowej w układzie „trójkąt” są zdecydowanie korzystniejsze od rozwiązań przedstawionych wcześniej.

4. Bloki cylindrowe

Najnowszym opracowaniem konstrukcyjnym wprowadzonym do produkcji przez firmę MAN B&W w silnikach okrętowych jest zespół bloków cylindrowych ze zintegro-

es appearing in that area are closed in a circle with inscribed triangle. It is decidedly easier and less expensive to make welds, because there are no stiffening ribs requiring that the frame be turned several times during welding in order to ensure their execution in the most convenient positions, and to limit welding deformations. What causes inconvenience are single-bevel butt welds with access from one side, requiring welders' great attention during their execution, but this applies to the root pass only, because the filling passes can be made by means of automated welding methods. Apart from that, according to MAN B&W information, stresses appearing in the root pass in the „triangle” arrangement are decidedly more advantageous than the solutions presented previously.

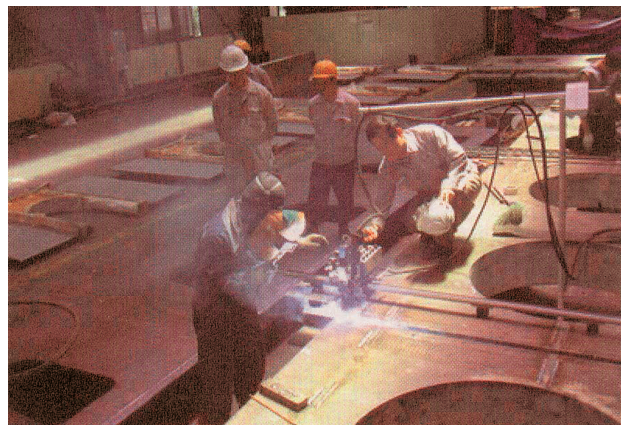
4. Cylinder frames

The latest design solution introduced by MAN B&W into the marine engine production is a set of cylinder frames with integrated air receiver in the welded version (Fig. 14). Until now, the air receiver (welded construction) and cylinder frames (one-, two- or three-cylinder iron castings) have been manufactured separately. After fitting up their machined planes the assemblies were bolted together.

The idea resulted from the intention to reduce production costs by reducing the amount of machining, the desire to relieve the HHI Foundry in Korea, and welding unconformities becoming evident in the casting itself as late as during machining. Repeatedly disclosed defects, sometimes small, and limited weldability of cast iron made it necessary to scrap cylinder frames.

The introduction of the innovation (acc. to HHI specialist evaluations) caused the following:

- Cylinder frame assembly mass reduction by about 30%,
- Integration of charge air receiver and frame into one as-



Rys. 20. Widok przygotowania płyt do szepiania i spawanie płyt stalowych [3]

Fig. 20. View of plate preparation for tack welding and welding of cast steel plates [3]

wanym zasobnikiem powietrza w wersji spawanej (rys. 14). Dotychczas zasobnik powietrza (konstrukcja spawana) i bloki cylindrowe (jedno-, dwu- lub trzycylindrowe odlewy żeliwne) były wykonywane oddzielnie. Po ich spasowaniu obrabionymi płaszczyznami były skręcone śrubami. Celem tego rozwiązania było zmniejszenie kosztów produkcji przez zmniejszenie zakresu obróbki mechanicznej, odciążenie odlewni HHI Korea oraz zmniejszenie niezgodności odlewniczych ujawniających się w samym odlewie dopiero podczas obróbki mechanicznej. Ujawniane wielokrotnie wady, czasami niewielkie, i ograniczona spawalność żeliwa wymuszały konieczność brakowania bloków.

Wprowadzenie tego nowatorskiego rozwiązania (wg ocen specjalistów HHI) spowodowało:

- obniżenie masy zespołu bloku cylindrowego o ok. 30 %,
- połączenie zasobnika powietrza doładującego z blokiem w jeden zespół, a przez to częściową likwidację obróbki mechanicznej obu tych zespołów w miejscach niezbędnych do skręcenia,
- zastąpienie materiału bardzo trudno spawalnego (żeliwa) spawalnymi blachami, w których usunięcie niezgodności metodami spawalniczymi jest bardzo łatwe,
- zwiększenie sztywności bloku ze względu na wyższy moduł Younga stalowych blach,
- zmniejszenie ciężaru bloku, co spowodowało zwiększenie nośności statku.

Górną część bloku cylindrowego w wersji spawanej stanowi płyta o grubości 320 mm składająca się z trzech części połączonych ze sobą spoinami z niepełnym przetopem. Dlatego do jej wykonania zastosowano staliwo o chemicznym równoważniku węgla $C_e \leq 0,39$. Do połączenia części zastosowano dwie metody: spawanie automatyczne łukiem krytym lub spawanie automatyczne w osłonie gazu aktywnego. Proces spawania przebiega z zachowaniem ściśle ustalonej kolejności spawania w celu uniknięcia naprężeń spawalniczych i niedopuszczalnych odkształceń płyt.

5. Technologia

Na początku produkcji silników okrętowych (w latach 1950–60) podstawy i skrzynie korbowe były spawane głównie elektrodami otulonymi produkcji Huty Baildon do spawania połączeniowego stali węglowych i niektórych stali niskostopowych. Znamienne jest to, że do dziś stosowany jest ten sam gatunek elektrod otulonych zasadowych, dawniej oznaczonych symbolem fabrycznym EP 55-22, dziś znany wszystkim spawalnikom i spawaczom pod symbolem EB1.50. Do spawania elektrodami otulonymi stosowano spawarki wirujące typu EW 23 lub EW 32, transformatory spawalnicze ETc-500 oraz prostowniki spawalnicze typu STS 500.

Postęp w budowie krajowych urządzeń do spawania pozwolił na wprowadzenie do produkcji w latach 70-tych XX w. półautomatycznego spawania łukowego w osłonie gazu metodą MAG. Złącza spawane wykonywano za pomocą urządzeń produkcji ASPA Wrocław Oddział Opole (obecnie OZAS Opole) typu EMa 400 drutami pełnymi w osłonie dwutlenku węgla pobieranego z butli. Druty spawalnicze

- assembly, and owing to that, partial elimination of machining of both assemblies in places necessary for bolting,
- Replacement of very difficult-to-weld material, i.e. cast iron, by weldable plates where it is very easy to remove discrepancies by means of welding methods,
- Increase of frame rigidity owing to higher elastic modulus of steel plates,
- Reduction of frame weight, which resulted in deadweight tonnage increase.

The upper part of cylinder frame in the welded version is a plate 320mm thick consisting of three parts connected with one another by incompletely penetrated welds. Therefore it is made of cast steel with the chemical carbon equivalent $C_e \leq 0,39$.

To connect the parts, two methods are applied: automatic submerged-arc welding or automatic active gas-shielded welding. The welding process is run with the adherence to a strictly established welding sequence in order to avoid welding stresses and unacceptable plate deformations.

5. Technology

At the beginning of production (in the 1950s and 60s), bedplates and frame boxes were welded mainly with BAILDON Steelworks covered electrodes for junction welding of carbon steels and some low-alloy steels. It is significant that the same type of basic-covered electrodes has been used until today. Its former factory symbol was EP 55-22, today it is known to all welders and welding specialists as EB1.50. The covered-electrode welding was carried out with rotary welding machines of the EW23 or EW32 type, welding transformers ETc-500, and welding rectifiers of the STS 500 type.

Owing to progress in building the domestic welding equipment, semiautomatic MAG gas-shielded-arc welding was introduced in production at the turn of the 1970s. Welded joints were made by means of equipment from ASPA Wrocław, Opole Branch (now OZAS Opole), EMa 400 type, with solid wires shielded by CO_2 drawn from cylinder. Welding wires were delivered in reels, and had to be reeled on feeder spools. The wire quality was very questionable; this and imprecise reeling used to cause considerable losses.

Contact with the licensors made it possible from the middle of 1985 to introduce into production the welding machines and core wires of 1.6 and 2.4 mm diameters from Oerlikon Switzerland, which increased the efficiency and improved the welded joint quality. Those wires were only used for the most loaded joints. It must be pointed out that core wires imported at that time were incomparably more expensive than the domestic solid wire, and bought in exchange for foreign currency, because there was no home production of that kind of wires then.

In retrospect, it may seem apparently that the applied welding technology of bedplates, frame boxes and other engine assemblies remains unchanged. This is entirely untrue. Welding is carried out with the aid of the same methods, but the welding processes have been re-orientated to a great extent. The covered-electrode welding has been used until today, in the first place for removing welding devia-

były dostarczane w kęgach i wymagały nawijania na szpule podajników. Jakość drutów budziła wiele zastrzeżeń, co w połączeniu z nieprecyzyjnym nawijaniem powodowało znaczne straty.

Kontakt z licencjodawcami pozwolił od połowy 1985 roku wprowadzić do produkcji spawarki i druty rdzeniowe o średnicy 1,6 i 2,4 mm firmy Oerlikon Szwajcaria, co zwiększyło wydajność i poprawiło jakość złączy spawanych. Druty te były stosowane tylko do złączy najbardziej obciążonych. Należy zaznaczyć, że importowane druty rdzeniowe w tym okresie były nieporównywalnie droższe od drutu pełnego krajowego i kupowane za dewizy, gdyż takich drutów w kraju w tym czasie nie produkowano.

Z perspektywy czasu może się pozornie wydawać, że stosowana technologia spawania podstaw, skrzyń korbowych i innych zespołów silników nie uległa zmianie. W rzeczywistości nastąpił jednak istotny rozwój metod spawania. Wprawdzie spawanie elektrodami otulonymi stosowane jest do dziś, przede wszystkim do usuwania uchybień spawalniczych, lecz istotnie rozwinęły się urządzenia spawalnicze. Udoskonalono źródła prądu, spawarki wirujące zastąpiono początkowo transformatorowymi i prostownikowymi, a te z kolei inwerterowymi. Podobny postęp nastąpił w urządzeniach do spawania półautomatycznego w osłonach gazów ochronnych. Rozwijająca się ciągle elektronika zrewolucjonizowała sterowanie procesem spawania we wszystkich metodach. Dziś do produkcji konstrukcji spawanych silnika okrętowego stosowane są urządzenia o najwyższym standardzie światowym, pozwalające na znaczną automatyzację procesów spawania. Wprowadza się automaty spawalnicze, manipulatory i roboty, co ma na celu zwiększenie wydajności i podnoszenie jakości złączy spawanych przez eliminowanie uchybień wykonawczych. Automatyzacja ma też na celu poprawienie warunków pracy spawaczy.

Należy także zwrócić uwagę na postęp jaki nastąpił w ostatnich latach w produkcji gazów technicznych stosowanych w spawalnictwie, szczególnie w przypadku metody MAG. Opracowano wiele nowych mieszanek gazowych, które oddziałują na proces spawania dzięki czemu uzyskuje się spoiny o określonych właściwościach mechanicznych, plastycznych i odpornych na pęknięcie. Zmienił się sposób pobierania gazu osłaniającego. Na poszczególnych stanowiskach spawalniczych pobór gazu z butli zastąpiono zasilaniem z sieci.

Bardzo ważną rolę w tym zakresie odegrały towarzystwa kwalifikacyjne, które wymogły na producentach dodatkowych materiałów do spawania ich atestowanie przez laboratoria towarzystw. Atestowanie zestawów drut-gaz, drut-topnik itp. spowodowało poprawę jakości tych materiałów i uwiarygodniło producentów na rynku.

Towarzystwa klasyfikacyjne postawiły także wymagania wytwórcom konstrukcji spawanych stosowania materiałów atestowanych, co zagwarantowało poprawę jakości konstrukcji spawanych i obniżenie kosztów produkcji. Kolejnym wymaganiem towarzystw kwalifikacyjnych, a obecnie także norm europejskich i międzynarodowych, jest kwalifikowanie metod spawania. Przy doborze parametrów spawania

Power sources are improved; transformers and rectifiers replaced rotary welding machines at first, and inverter-welding machines, in turn, replaced these. Similar progress has followed in semiautomatic gas-shielded welding equipment. The constant development of electronics has revolutionized the welding process control of each method. Nowadays the welded constructions for marine engines are manufactured with the use of equipment of the highest world standard. Manual work done by welders becomes replaced, and automatizing equipment for welding is implemented, such as automatic welding machines, manipulators, and robots; this is aimed at increasing the efficiency and raising the quality of welded joints by the elimination of mistakes caused by man-welder. The purpose of automation is to improve the working conditions for welders, too.

What should also be mentioned is the progress that has taken place in the recent years in the production of technical gases used in the welding technology, particularly in case of the MAG method. Many gas mixtures have been developed for welding, and as a result of that, the applied gases influence the welding process whereby welds are obtained with specified mechanical and plastic properties and crack resistance. The method of shielding gas pick-up is changed. On individual welding stations, gas is drawn from grid instead of cylinder.

A very important role was played by the Classification Societies. They forced the welding filler metal producers to submit their products for certification by the Societies' laboratories. The certification of the combinations of wire-gas, wire-flux, and the like, improved the quality of those materials, and made the producers credible on the market.

The Classification Societies also imposed requirements upon the welded construction manufacturers, including the requirement for using certified-well proven materials in production, which guaranteed improved quality of welded constructions, and reduction of production costs. Another requirement laid down by the Classification Societies in their rules, and now also specified in the European and international standards, is the qualification of welding methods. The times are over when the welding parameter selection depended on the welder – his professional culture and experience.

The next measures for raising the quality of welded joints include the execution of test welded joints, recording of all factors deciding about the mechanical properties of welded joint, extensive welded joint tests certified by laboratories, obtainment of approved WPQR for welding method and preparation of WPS's on that basis. Today welders are under the obligation to make every weld bead according to the information in WPS where the preparation of joint before welding, welding position, weld shape, welding methods and weld bead sequence, amperage, arc voltage, wire type and diameter, type of flux, gas, temperature between beads, heat treatment, and others, are defined. That kind of production technology documentation preparation for every construction is labour-consuming and expensive, but it guarantees the execution of correct joints and makes it easier to supervise the process of their execution.

nie wystarcza już sama kultura zawodowa i doświadczenie spawacza.

Wykonywanie próbnych złączy spawanych, rejestrowanie wszystkich czynników decydujących o właściwościach mechanicznych złącza spawanego, jego szerokie badania przez certyfikowane laboratoria, uzyskanie potwierdzonego uznania metody spawania WPQR i opracowywanie na tej podstawie technologicznych instrukcji spawania WPS jest kolejnym krokiem podnoszenia jakości złączy spawanych. Dziś spawacze są zobowiązani do wykonywania każdego ściegu spoiny według informacji zawartych w instrukcji spawania WPS wskazującej przygotowanie złącza przed spawaniem, pozycję spawania, kształt spoiny, metody spawania i kolejność wykonania ściegów, natężenia prądu, napięcia łuku, rodzaj i średnicę drutu, typ topnika, gazu, temperatury międzyściegowej, obróbki cieplnej i innych. Taki stan przygotowania dokumentacji technologicznej dla każdej konstrukcji jest pracochłonny i kosztowny, jednak gwarantuje wykonanie poprawnych złączy i ułatwia nadzór ich wykonywania.

Personelu nadzoru spawalniczego, technologowie, spawacze i kontrolerzy działu jakości muszą mieć odpowiednie i potwierdzone kompetencje według Europejskiej Federacji Spawalniczej (EWF). Uprawnienia i kompetencje personelu spawalniczego muszą odpowiadać normom: kadra technologów według PN-EN 719, kadra kontroli złączy spawanych według PN-EN 423 poziom 2, spawacze według PN-EN 287-1 a operatorzy urządzeń spawalniczych według PN-EN 1418.

Ciągłe wprowadzanie coraz nowszych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych wpłynęło na obniżenie kosztów produkcji konstrukcji spawanych. Przejście ze spawania elektrodami otulonymi do obecnie stosowanych metod spawania półautomatycznego spowodowało obniżenie kosztów wytwarzania o ok. 30%.

It also must be remembered that the welding supervisory personnel, welding process engineers, foremen, welders and quality control inspectors in a factory manufacturing acceptance-obliged welded constructions must have adequate and confirmed qualifications according to the European Welding Federation (EWF).

The welding personnel permits and qualifications must comply with the following standards: PN-EN 719 for welding process engineers, PN-EN 423 level 2 for welded joint inspectors, PN-EN 287-1 for welders, and PN-EN 1418 for welding equipment operators.

The unceasing implementation of newer and newer design and technology solutions has contributed to cost down of welded construction production. For example, if the costs of the covered-electrode welding and the semiautomatic welding methods applied at present are compared, manufacturing costs are reduced by approximately 30%.

Skróty i oznaczenia / Abbreviations and Nomenclature

NPV zysk / Net Profit Value

Artykuł recenzowany

Literatura / Bibliography

- [1] Dokumentacja konstrukcyjna silników WARTSILA Szwajcaria.
- [2] Dokumentacja konstrukcyjna silników MAN B&W Dania.
- [3] Materiały konferencyjne MAN B&W. Kopenhaga, 2006.

mgr inż. Marek Michalski – technolog w Dziale Głównego Spawalnika Fabryki Silników Okrętowych HCP S.A. Pracuje w zawodzie inżyniera spawania od 36 lat. Studiował na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej, specjalność Spawalnictwo. Od 1997 roku Europejski Inżynier Spawalniki (EWE).



Mr. Marek Michalski, M. Eng. – technologist in the Marine Engine Factory, Dept. of Welding Technology, HCP S.A. He has held the position of engineer in welding technology for 36 years. He studied in the Faculty of Machine Technology at Poznań University of Technology. In 1997 he received the title of European Welding Engineer.

mgr inż. Roman Walkowiak – pracuje w zawodzie inżyniera spawania od 33 lat. Pełni funkcję Głównego Spawalnika Fabryki Silników Okrętowych HCP S.A. Studiował na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej, specjalność Spawalnictwo. Od 1997 roku Europejski Inżynier Spawalniki (EWE).



Mr. Roman Walkowiak, M. Eng. – has worked as welding engineer for 33 years. He is Chief Welding Engineer in the Marine Engine Factory, HCP S.A. He studied in the Faculty of Machine Technology at Poznań University of Technology. In 1997 he received the title of European Welding Engineer.

Stanisław Prymowicz – technik mechanik, technolog w Dziale Głównego Spawalnika Fabryki Silników Okrętowych HCP S.A. Ma 36-letni staż pracy. Od roku 2002 Międzynarodowy i Europejski Technolog Spawalniki (IWT, EWT).



Mr. Stanisław Prymowicz, BEng. – technologist in the Marine Engine Factory, Dept. of Welding Technology, HCP S.A. He has held the position for 36 years. In 2002 he received the titles of: International Welding Technologist and European Welding Technologist.